

# Física: Fluidos

## TÓPICO 9: Hidrostática

Você sabe qual a profundidade máxima que consegue mergulhar sem usar um equipamento apropriado? Sabe como determinar a densidade de um líquido? O que é e como funciona um barômetro? Todas essas perguntas e diversas outras serão respondidas nesta aula onde são apresentados os fundamentos da hidrostática, que é um ramo da física responsável por estudar líquidos em repouso.

### 1 Pressão

Se uma força  $F$  comprime uma superfície de área  $A$ , sendo essa força distribuída sobre toda a superfície, a força exercida por unidade de área é descrita como  $F/A$ . Esse termo representa quantos newtons de força é aplicado sobre cada unidade de área. Essa definição é chamada de pressão:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

em que  $p$  é a pressão sobre a superfície, representa como  $\text{N/m}^2$  ou Pa (pascal) no SI,  $F$  é a força aplicada e  $A$  a área da superfície. A figura 1 ilustra a situação onde uma força distribuída, representada por uma força resultante  $F$ , é aplicada sobre uma superfície.

#### 1.1 Pressão atmosférica

A atmosfera é formada pelo ar que contém átomos e moléculas formadas por vários elementos, como oxigênio, nitrogênio, carbono etc. Isso significa que o ar possui peso, logo exerce pressão quando entra em contato com qualquer superfície. Esse efeito é a origem da pressão atmosférica. Ao nível do mar, este valor é  $1,0132 \times 10^5$  Pa. Além do pascal, outras unidades de medida são comuns para medir pressão, como o atm (atmosfera) e mmHg (milímetros de mercúrio). 1 atm (também vale  $1 \text{ kgf/cm}^3$ ) equivale exatamente o valor da pressão atmosférica ( $1 \text{ atm} = 1,0132 \times 10^5$  Pa). Para converter atm em mmHg ou cmHg, use as relações:

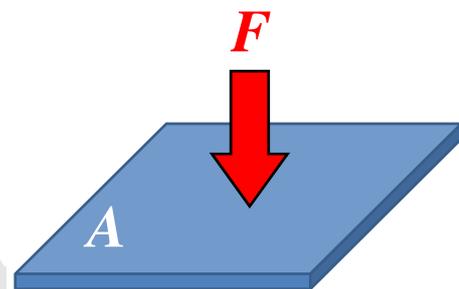


Figura 1: Representação de uma força resultante  $F$  aplicada sobre uma superfície  $A$ .

$$1 \text{ atm} = 76,0 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg}$$

Outra unidade de medida não muito utilizada é o torr ( $760 \text{ torr} = 1 \text{ Pa}$ ). Entretanto, é comum em uma área chamada *física de plasmas*.

#### Exercício 1

(CSP-SP) Os estudos dos efeitos da altitude sobre a performance física começaram a ser realizadas depois dos jogos olímpicos de 1968. A competição realizada na Cidade do México, a 2400 metros, registrou nas corridas de média e longa distância o triunfo de atletas de países montanhosos, como Tunísia, Etiópia e Quênia, enquanto australianos e americanos, os favoritos, mal conseguiam alcançar a linha de chegada.

Os americanos e australianos não tiveram sucesso nas provas, pois, nas condições atmosféricas da Cidade do México, não estavam adaptados:

(a) à diminuição da pressão atmosférica e à consequente rarefação do ar.

(b) ao aumento da pressão atmosférica e à consequente diminuição de oxigênio.

(c) à diminuição da resistência do ar e ao consequente aumento da pressão atmosférica.

(d) à diminuição da pressão atmosférica e ao consequente aumento da oxigenação do sangue.

(e) ao aumento da insolação no clima de montanha e ao consequente aumento de temperatura de verão.

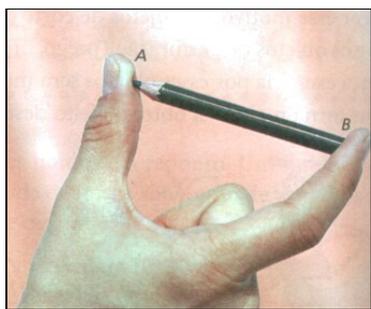
**RESPOSTA:** Resposta correta: (a).

A atração gravitacional entre a Terra e o ar é maior para as moléculas mais próximas da superfície terrestre. Moléculas mais afastadas possuem peso menor devido a redução da aceleração gravitacional (veja o Problema 2 da Aula 8). Além disso, a atmosfera pode ser separada em lâminas, de modo que cada lâmina sofre compressão da lâmina superior. Nesse caso, as lâminas mais próximas da Terra sofrem a compressão de todas as lâminas acima enquanto as mais afastadas sofrem pouca compressão. Logo, esses efeitos explicam as menores pressões em regiões mais afastadas do nível do mar.

A pressão atmosférica ao nível do mar mede 76 cmHg, enquanto na Cidade do México vale 58 cmHg. Como a pressão é menor, o ar torna-se mais rarefeito. Desta forma, os americanos e australianos tiveram mais dificuldades para respirar já que seus países encontram-se em alturas mais próximas do nível do mar.

### Problema 1

(UFSC) Uma pessoa comprime um lápis entre os seus dedos, da maneira indicada na figura. Adotando como  $A$  a área de superfície de contato entre a ponta do lápis e o dedo polegar e como  $B$  a área de contato entre o lápis e o dedo indicador, e admitindo-se que  $A$  seja menor que  $B$ , assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.



01. A intensidade da força do polegar sobre  $A$

é maior que a do indicador sobre  $B$ .

02. A pressão exercida pela força do polegar sobre  $A$  é maior que a do indicador sobre  $B$ .

04. A pressão exercida pela força do polegar sobre  $A$  é igual à do indicador sobre  $B$ .

08. Pressão é sinônimo de força.

16. A pressão exercida por uma força sobre uma superfície só depende da intensidade da força.

32. A intensidade da força do polegar sobre  $A$  é igual à do indicador sobre  $B$ .

**RESOLUÇÃO:**

01. Incorreta. As forças são iguais, pois formam um par ação e reação.

02. Correta. Como as forças são iguais e a área  $A$  é menor, a pressão sobre a área  $A$  é maior, conforme descreve a equação 1.

04. Incorreta, conforme descrito no item 02.

08. Incorreta. Pressão é força por unidade de área. A força aplicada sobre uma superfície pode ser alta, mas se a área também é alta, a pressão torna-se baixa.

16. Incorreta. Conforme mostra a equação 1, a pressão também é inversamente proporcional à área.

32. Correta, conforme discutido no item 01.

Portanto, a soma dos itens corretos é 34.

## 2 Densidade

A densidade ou massa específica de um material mede a quantidade de massa contida em uma unidade volume. Essa grandeza é calculada a partir da divisão entre a massa  $m$  do objeto e o seu volume  $V$ :

$$d = \frac{m}{V} \quad (2)$$

em que  $d$  é a densidade volumétrica dada em  $\text{kg}/\text{m}^3$  no SI. Outra unidade comum é o  $\text{g}/\text{cm}^3$  que pode ser convertida para o SI por meio da relação:

$$1 \text{ g}/\text{cm}^3 = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$d$ (em 0°C e 1 atm)	
Substância	$d$ (g/cm <sup>3</sup> )
hidrogênio	0,000 09
ar	0,001 3
madeira	0,40 - 1,0
gasolina	0,70
gelo	0,90
alumínio	1,30
ferro	7,60
cobre	8,90
prata	10,5
chumbo	11,3
mercúrio	13,6
ouro	19,3
platina	21,4

**Tabela 1:** Densidade de diversas substâncias (Retirado de Máximo e Alvarenga, 2012).

A densidade da água em 0°C e 1 atm, por exemplo, vale 1 g/cm<sup>3</sup> ou 1000 kg/m<sup>3</sup>. A água salgada na mesma condição vale 1,03 g/cm<sup>3</sup>. Alguns outros elementos são apresentados na tabela 1.

### Problema 2

(UEPG) Um dos conceitos da física de vital importância no cotidiano é a densidade. Nesse contexto, assinale o que for correto.

(01). A elevação de um balão na atmosfera depende da temperatura do ar que está confinado no seu interior.

(02). O etanol tem sua densidade diminuída quando nele introduz-se água.

(04). A determinação da densidade absoluta de uma substância só é possível quando a substância tem formato regular.

(08). Um alimento deteriorado tem a sua densidade alterada em relação à normal.

#### RESOLUÇÃO:

(01). Correto. O balão se movimenta na troposfera, que é a região mais próxima da superfície terrestre com uma extensão de aproximadamente 11 km. Nela, a temperatura do meio diminui com o aumento da altura, onde uma corrente de convecção faz o ar quente subir e o ar frio descer. Logo, ao aquecer o ar do balão, ele sobe.

(02). Incorreto. Essa afirmação é ambígua, pois existem duas respostas, mas qualquer uma

delas leva à mesma conclusão. **Resposta 1:** Como a densidade da água é maior que a do etanol, a densidade da mistura aumenta. A densidade do etanol em 0° e 1 atm é 0,806 g/cm<sup>3</sup> enquanto da água, conforme mostra a tabela 1, vale 1,00 g/cm<sup>3</sup>. A densidade da mistura está entre esses dois valores e vai depender da massa de cada fluido (*resposta mais improvável*). **Resposta 2:** a água não muda a densidade do etanol, pois não existem reações químicas na mistura (*resposta menos improvável*).

(04). Incorreto. Para calcular a densidade de um corpo, devemos conhecer a massa, o que é facilmente obtido com uma balança, e o seu volume. Se o corpo tem o formato de uma figura geométrica conhecida, você pode fazer medidas de comprimento, diâmetro etc. e determinar o seu volume. Caso não utilize esse método, é possível determinar o volume imergindo o corpo em um recipiente com água que possui uma escala de volume (e.g., béquer). Ao fazer isso, basta medir o volume de água deslocado, pois este valor representa o volume do corpo. Repare que essa técnica pode ser realizada para corpos com qualquer geometria, incluindo a irregular.

(08). Incorreto. A deterioração (interpretado aqui como envelhecimento) não muda a massa e volume. Obs.: Essa análise considera apenas a estrutura sólida do alimento.

Portanto, a soma dos itens corretos é 1.

## 3 Pressão exercida por líquidos

Considere uma coluna de água sobre uma base sólida, conforme ilustra a figura 2. A coluna de água possui altura  $h$ , volume  $V$  e o seu peso aplica uma pressão  $p$  constante sobre a base:

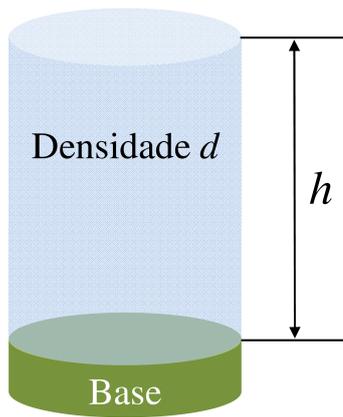
$$p = \frac{F}{A} = \frac{P}{A} \quad (3)$$

em que  $P$  é o peso do corpo que, com a equação 2, pode ser escrita como  $mg = (Vd)g$ . O volume da coluna de água é dado por  $hA$ , em que  $A$  é a área da base onde é aplicada pressão. Assim:

$$p = \frac{P}{A} = \frac{(Vd)g}{A} = \frac{[(hA)d]g}{A} \quad (4)$$

$$p = dhg$$

em que  $g$  é a aceleração gravitacional local,  $d$  a densidade do fluido e  $h$  a sua altura. Caso acima da coluna



**Figura 2:** Uma coluna líquida de densidade  $d$  e altura  $h$  exerce, no fundo do recipiente, uma pressão  $p = dhg$ .

de água exista pressão atmosférica, a pressão na base será:

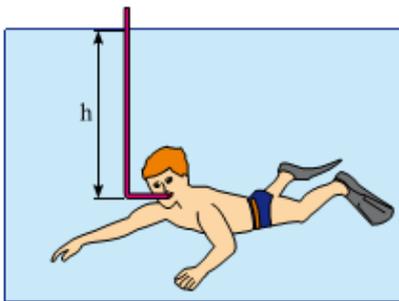
$$p = p_0 + dhg \quad (5)$$

em que  $p_0$  é a pressão atmosférica. Na água, cada 10 m de profundidade representa 1 atm de pressão exercida sobre a base. Essa equação é também conhecida como lei de Stevin. Portanto, a diferença de pressão entre a superfície e a base da coluna de água é dada por:

$$\Delta p = dhg \quad (6)$$

### Exercício 2

(UNESP) A diferença de pressão máxima que o pulmão de um ser humano pode gerar por inspiração é em torno de  $0,1 \times 10^5$  Pa ou 0,1 atm. Assim, mesmo com a ajuda de um *snorkel* (respirador), um mergulhador não pode ultrapassar uma profundidade máxima, já que a pressão sobre os pulmões aumenta à medida que ele mergulha mais fundo, impedindo-os de inflarem.



Considerando a densidade da água  $\rho \approx 10^3$  kg/m<sup>3</sup>, a aceleração da gravidade  $g \approx 10$  m/s<sup>2</sup>, e a profundidade de máxima estimada, representada por  $h$ , a que uma pessoa pode mergulhar respirando com a ajuda de um *snorkel* é igual a:

- (a)  $1,1 \times 10^2$  m
- (b)  $1,0 \times 10^2$  m
- (c)  $1,0 \times 10^1$  m
- (d)  $1,0 \times 10^1$  m
- (e)  $1,0 \times 10^0$  m

**RESOLUÇÃO:** A diferença de pressão entre a superfície da água e a profundidade de altura  $h$  pode ser calculada com a equação 6:

$$\Delta p = dhg = \rho hg$$

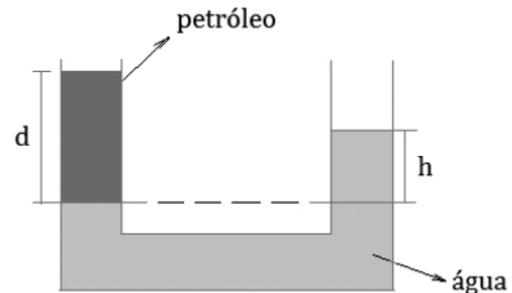
$$0,1 \times 10^5 = (1000)h(10)$$

$$h = 1,0 \text{ m}$$

Logo, a alternativa correta é o item (e).

### Problema 3

(UPE) A aparelhagem mostrada na figura abaixo é utilizada para calcular a densidade do petróleo. Ela é composta de um tubo em forma de U com água e petróleo.



Dados: considere a densidade da água igual a 1000 kg/m<sup>3</sup>. Considere  $h = 4$  cm e  $d = 5$  cm. Pode-se afirmar que o valor da densidade do petróleo, em kg/m<sup>3</sup>, vale:

- (a) 400
- (b) 800
- (c) 600
- (d) 1200
- (e) 300

**RESOLUÇÃO:** Na linha pontilhada, a pressão aplicada tanto pela coluna de petróleo ( $p_p$ ) quanto pela coluna de água ( $p_a$ ) é representada pela equação 5:

$$p_p = p_0 + d_p dg$$

$$p_a = p_0 + d_a hg$$

em que  $p_0$  é a pressão atmosférica,  $d_p$  a densidade do petróleo e  $d_a$  a densidade da água. Na condição de equilíbrio, as pressões exercidas

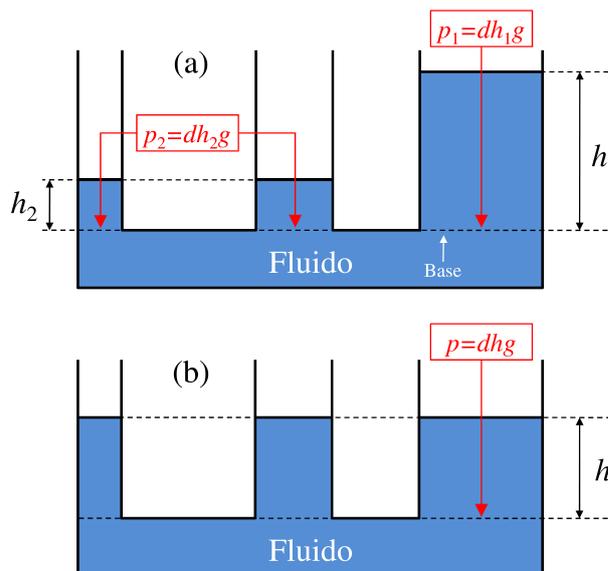
por cada fluido na base (linha tracejada) são iguais, assim  $p_p = p_a$ :

$$d_p = \frac{h}{d} d_a = \frac{4}{5} 1000 = 800 \text{ kg/m}^3$$

sendo, portanto, o item (b) a alternativa correta.

### 3.1 Vasos comunicantes

Recipientes com formas e capacidades diferentes, cujas bases são ligadas entre si, são chamados de vasos comunicantes (Máximo e Alvarenga, 2012). Como vimos, a pressão que um líquido exerce sobre a base depende apenas da sua altura; assim, se um vaso possui líquido com uma altura maior que dos vasos vizinhos, sua base exerce uma pressão maior sobre a base da vizinhança, conforme mostra a figura 3(a). A coluna da direita possui um fluido de altura  $h_1$  que resulta na aplicação de uma pressão  $p_1$  sobre a base. Os vasos do centro e esquerda possuem colunas do mesmo fluido com altura  $h_2$  que exercem pressão  $p_2 < p_1$  sobre a base. Com essa diferença, considerando que os vasos sejam abertos e a pressão atmosférica seja a mesma em todos os vasos, a coluna do vaso da direita empura as demais colunas para cima até que as alturas sejam iguais, como mostra a figura 3(b). Neste momento, é possível desbalancear novamente as alturas das colunas para a situação da figura 3(a) com a aplicação de diferentes pressões externas, conforme descrito no problema a seguir.



**Figura 3:** Vasos comunicantes. (a) Regime fora de equilíbrio com o fluido de altura  $h_1$  exercendo uma pressão  $p_1 > p_2$  sobre a base dos vasos. (b) No regime permanente, todas as colunas possuem a mesma altura  $h$ . Neste exemplo, os vasos estão abertos no topo e sujeitos a mesma pressão atmosférica.

#### Problema 4

(UFSC) Os alunos de uma escola, situada em uma cidade A, construíram um barômetro para comparar a pressão atmosférica na sua cidade com a pressão atmosférica de uma outra cidade, B. Vedaram uma garrafa muito bem, com uma rolha e um tubo de vidro, em forma de U, contendo mercúrio. Montado o barômetro, na cidade A, verificaram que a altura das colunas de mercúrio eram iguais nos dois ramos do tubo, conforme mostra a Figura 1. O professor orientou-os para transportarem o barômetro com cuidado até a cidade B, a fim de manter a vedação da garrafa, e forneceu-lhes a Tabela abaixo, com valores aproximados da pressão atmosférica em função da altitude. Ao chegarem à cidade B, verificaram um desnível de 8,0 cm entre as colunas de mercúrio nos dois ramos do tubo de vidro, conforme mostra a Figura 2.

Altitude (m)	$p_{\text{atm}}$ (cmHg)
0	76
200	74
500	72
1 000	67
2 000	60
3 000	53
4 000	47

Considerando a situação descrita e que os valores numéricos das medidas são aproximados, face à simplicidade do barômetro construído, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

01. Na cidade A, as alturas das colunas de mercúrio nos dois ramos do tubo em U são iguais, porque a pressão no interior da garrafa é igual à pressão atmosférica externa.
02. A pressão atmosférica na cidade B é 8,0 cmHg menor do que a pressão atmosférica na cidade A.
04. Sendo a pressão atmosférica na cidade A igual a 76 cmHg, a pressão atmosférica na cidade B é igual a 68 cmHg.
08. A pressão no interior da garrafa é praticamente igual à pressão atmosférica na cidade

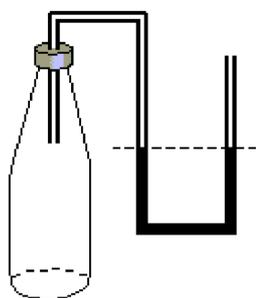
A, mesmo quando o barômetro está na cidade B.

16. Estando a cidade A situada ao nível do mar (altitude zero), a cidade B está situada a mais de 1000 metros de altitude.

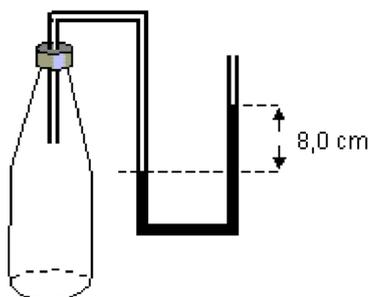
32. Quando o barômetro está na cidade B, a pressão no interior da garrafa é menor do que a pressão atmosférica local.

64. A cidade B encontra-se a uma altitude menor do que a cidade A.

**Figura 1**  
Barômetro na cidade A



**Figura 2**  
Barômetro na cidade B



#### RESOLUÇÃO:

01. Correta. Um barômetro é um dispositivo utilizado para medir pressão. Neste caso, o barômetro é formado por um tubo em U, que pode ser visto também como dois vasos comunicantes, onde o mercúrio é o fluido. Como as colunas possuem a mesma altura na figura 1, a pressão que cada uma exerce sobre a base também é. Neste caso, a pressão  $p_A$  é dada pela equação 5, em que  $p_{0A}$  é a pressão atmosférica da cidade A e  $dhg$  a pressão da coluna.

02. Correta. A coluna da direita é 8,0 cm maior porque a pressão dentro da garrafa (cidade A) é 8,0 cmHg maior que a pressão da cidade B.

04. Correta. Pelo item anterior, podemos escrever a relação  $p_A = p_B + 8,0$ , em que  $p_B$  é a pressão na cidade B e 8,0 cmHg a diferença entre as pressões. Assumindo  $p_A = 76$  cmHg, obtemos  $p_B = 68$  cmHg.

08. Correta. Considerando que a vedação da garrafa não é ideal, o volume interno pode ser despressurizado ao levar a garrafa para a cidade B. Porém, considera-se que a diferença é pouca de modo que pode ser assumido praticamente o mesmo valor do medido na cidade A.

16. Incorreta. Conforme mostra a tabela, a cidade precisa ter, ao menos, 67 cmHg de pressão para ter 1000 m ou mais de altitude. A cidade B está abaixo de 1000 m, pois  $p_B = 68$  cmHg.

32. Incorreta. Conforme já descrito, a pressão da cidade B é menor que a pressão no interior da garrafa, que também é a pressão da cidade A.

64. Incorreta. A cidade B possui quase 1000 m de altitude.

Portanto, a soma dos itens corretos é 15.

## 4 Princípio de Pascal

O princípio de Pascal estabelece que a pressão aplicada em determinado ponto de um líquido incompressível e em equilíbrio é transmitido integralmente para todos os pontos. Este princípio pode ser exemplificado pelo dispositivo hidráulico da figura 4. Ao aplicar uma força  $F_e$  sobre um êmbolo de área superficial  $A_e$ , o óleo da coluna estreita sofre uma pressão  $p_e$  dada pela equação 1:

$$p_e = \frac{F_e}{A_e} \quad (7)$$

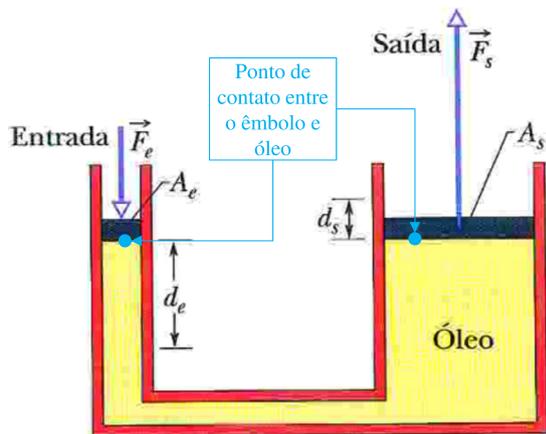
A pressão  $p_e$  é aplicada sobre todos os pontos entre o êmbolo de área  $A_e$  e o óleo, e pelo princípio de Pascal essa mesma pressão é integralmente transmitida para todos os pontos entre o êmbolo de área  $A_s$  e o óleo. Chamando-a de  $p_s$ , temos:

$$p_s = \frac{F_s}{A_s} \quad (8)$$

em que  $F_s$  representa a força de saída. Como  $p_e = p_s$ , as equações 7 e 8 fornecem a intensidade da força  $F_s$ :

$$F_s = \frac{A_s}{A_e} F_e \quad (9)$$

A equação 9 mostra que a força  $F_s$  é maior que a força  $F_e$ , pois  $A_s > A_e$ . Este resultado indica, por



**Figura 4:** Com o princípio de Pascal podemos aumentar a força de saída  $\vec{F}_s$  a partir da aplicação de uma força de entrada  $\vec{F}_e$  na coluna mais estreita. Este dispositivo pode ser utilizado como um macaco hidráulico para levantar veículos (Reproduzido de Halliday, Resnick e Walker, 2009).

exemplo, que o dispositivo pode ser utilizado como um macaco hidráulico para levantar um veículo, considerando as devidas proporções para as áreas dos êmbolos e a intensidade da força de entrada.

Ao aplicar a força  $F_e$ , o êmbolo menor é deslocado para baixo por uma distância  $d_e$ . Isso significa que a força de entrada está realizando um trabalho  $W_e = F_e d_e$  sobre o fluido. Considerando que a energia do sistema é conservada, o óleo também realiza o mesmo trabalho sobre o êmbolo de área  $A_s$ , deslocando-o uma distância  $d_s$  para cima por meio da aplicação da força de saída  $F_s$ , i.e.,  $W_s = F_s d_s$ . Com essas duas relações, mais o resultado da equação 9, é possível calcular a distância  $d_s$ :

$$d_s = \frac{F_e}{F_s} d_e \quad (10)$$

Como  $F_s > F_e$ , a equação 10 mostra que  $d_s < d_e$ . Este resultado implica que embora a força de saída seja maior, ela é aplicada por uma distância menor.

#### ANÁLISE CONCEITUAL

Considerando que o êmbolo maior da figura 4 possui movimentação livre, i.e., não está preso no cilindro da coluna, não existe adesão ao líquido ou atrito entre o êmbolo e as paredes, ele deveria se movimentar indefinidamente para cima após a aplicação da força  $F_s$ . Isso não ocorre porque enquanto o fluido realiza o trabalho  $W_s$  sobre o corpo, a força peso do êmbolo realiza um trabalho negativo para baixo, transformando sua energia cinética recém adquirida em energia potencial gravitacional. Se o movimento ocorre de forma lenta, o êmbolo entra em repouso logo após percorrer a distância  $d_s$ , nos levando a concluir que o trabalho  $W_s$  é igual ao trabalho realizado pela força peso:

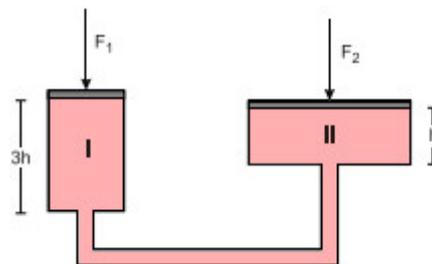
$$F_s d_s = P d_s$$

e, por consequência, que a força  $F_s$  é igual à força peso do êmbolo. Este resultado é muito importante para a resolução dos problemas a seguir.

#### Problema 5

(UERJ) Observe, na figura a seguir, a representação de uma prensa hidráulica, na qual as forças  $F_1$  e  $F_2$  atuam, respectivamente, sobre os êmbolos dos cilindros I e II.

Admita que os cilindros estejam totalmente preenchidos por um líquido. O volume do cilindro II é igual a quatro vezes o volume do cilindro I, cuja altura é o triplo da altura do cilindro II. A razão entre as intensidades das forças  $F_1$  e  $F_2$ , quando o sistema está em equilíbrio, corresponde a:



- (a) 12
- (b) 6
- (c) 3
- (d) 2

**RESOLUÇÃO:** Como o volume de um cilindro é o produto entre sua altura e a área da base, é possível calcular as áreas dos cilindros I e II por meio dos dados fornecidos no enunciado:

$$V_I = 3hA_I \text{ ou } A_I = \frac{V_I}{3h} \quad (11)$$

$$V_{II} = hA_{II} \text{ ou } A_{II} = \frac{V_{II}}{h} = \frac{4V_I}{h} \quad (12)$$

em que  $V$  representa o volume e  $A$  a área da base dos cilindros. Ao aplicar a força  $F_1$ , o êmbolo I se movimenta para baixo e o êmbolo II para cima, onde a força aplicada sobre o êmbolo II é dada pela equação 9. Esta força possui o mesmo módulo da força  $F_2$  aplicada para baixo. A força  $F_2$  pode representar o peso do êmbolo ou o peso resultante do êmbolo mais outro corpo. Assim, para calcular a razão  $F_1/F_2$ , aplicamos a equação 9:

$$F_2 = \frac{A_{II}}{A_I} F_1$$

onde a razão  $A_{II}/A_I$  é dada pelas equações 11 e 12:

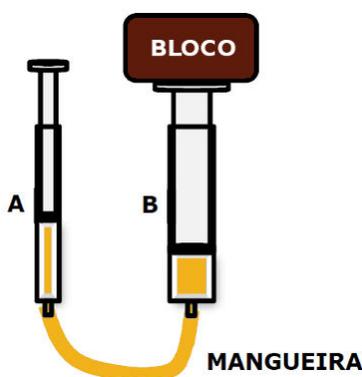
$$F_2 = \left( \frac{V_I/3h}{4V_I/h} \right) F_1$$

$$\frac{F_1}{F_2} = 12 \left( \frac{V_I/h}{4V_I/h} \right) = 12$$

sendo, portanto, o item correto a alternativa (a).

### Problema 6

(UEPA) Durante uma aula sobre fluidos, o professor ilustra um importante princípio físico por meio de um experimento, conforme a figura a seguir. No êmbolo da seringa maior, está apoiado um bloco de 150 g.



Ao ser pressionado, o êmbolo da seringa A desloca-se, muito lentamente, 3 cm, e o êmbolo da seringa B desloca-se 2 cm, elevando o bloco. Com relação a essa situação, são feitas as seguintes afirmações:

Dado: aceleração da gravidade = 10 m/s<sup>2</sup>.

- I. A força exercida pelo professor no êmbolo da seringa A é igual a 2/3 do peso do bloco.
- II. O trabalho realizado pelo professor, ao empurrar o êmbolo, é igual a 0,03 J.
- III. A pressão exercida pelo bloco no êmbolo da seringa B é maior que a pressão exercida pelo professor no êmbolo da seringa A.
- IV. O trabalho realizado pelo professor no êmbolo da seringa A é igual a 2/3 do trabalho realizado pela força peso no bloco.

A alternativa que contém todas as afirmativas corretas é:

- a) I e II
- b) I e III

- c) II e III
- d) II e IV
- e) III e IV

### RESOLUÇÃO:

I. Correta. O enunciado descreve que o êmbolo maior sobe 2 cm enquanto o êmbolo menor (seringa) desce 3 cm. A razão entre as forças de entrada e saída pode ser calculada com a equação 10:

$$d_s = \frac{F_e}{F_s} d_e$$

em que  $d_s = 2$  cm e  $d_e = 3$  cm, logo:

$$\frac{F_e}{F_s} = \frac{d_s}{d_e} = \frac{2}{3}$$

onde a força de saída é igual ao peso do bloco.

II. Correta. Considerando a energia conservada, o trabalho pode ser calculado por  $W_s = F_s d_s$ , em que  $F_s$  é a força de saída e possui o mesmo módulo do peso do bloco:

$$W_s = (0,150)(10)(0,02) = 0,03 \text{ J}$$

III. Incorreta. As pressões nos pontos A e B são iguais.

IV. Incorreta. Como a energia é conservada, os trabalhos são iguais.

Portanto, a item (a) é a alternativa correta.

## 5 Empuxo

Quando um objeto está submerso em um líquido, como mostra a figura 5, a pressão exercida sobre o corpo aumenta com a profundidade, conforme visto na seção 3. Assim, a pressão na base do corpo é maior que no topo, surgindo uma pressão  $p_{total}$  e, por consequência, uma força resultante  $E$  para cima. Essa força é chamada de empuxo e representa *uma força vertical, dirigida para cima, que qualquer líquido exerce sobre um objeto nele mergulhado* (Máximo e Alvarenga, 2012).

O filósofo, matemático e físico Arquimedes, que viveu no século III a.C., realizou diversos estudos sobre o empuxo e observou um princípio geral que recebeu o nome de **princípio de Arquimedes**: *Todo objeto mergulhado em um líquido recebe um empuxo vertical, para cima, igual ao peso do líquido deslocado*. Isso significa que se o empuxo possui intensidade de 5 N, o volume de líquido deslocado possui 5 N de peso.

O volume de fluido deslocado é igual ao volume

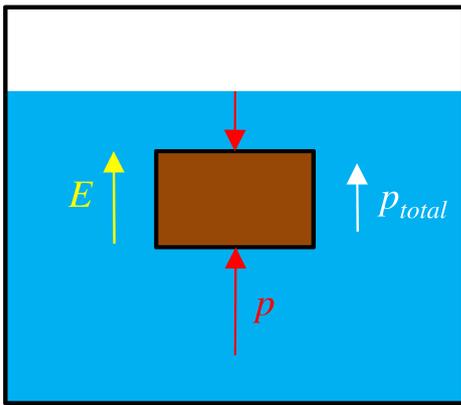


Figura 5: A água que está em volta do objeto produz um empuxo resultante para cima.

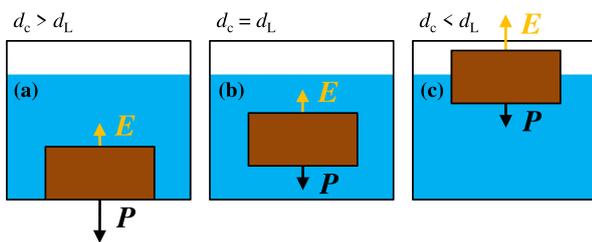


Figura 6: A força peso é (a) maior que o empuxo para  $d_c > d_L$ , (b) igual ao empuxo para  $d_c = d_L$  e (c) menor que o empuxo para  $d_c < d_L$ .

submerso do corpo. Assumindo  $m_d$  como a massa de fluido deslocado, o seu peso e, conforme descreve o princípio de Arquimedes, o empuxo é dado por:

$$E = m_d g \quad (13)$$

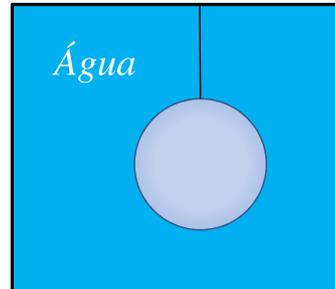
em que  $g$  é a aceleração gravitacional e  $m_d$  pode ser escrito com a equação 2 em função da densidade do líquido  $d_L$  e do volume deslocado  $V_L$ :

$$E = d_L V_L g \quad (14)$$

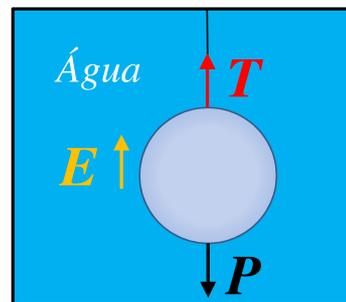
Quando um objeto é totalmente mergulhado em um líquido e abandonado, o volume deslocado é igual ao volume  $V$  do corpo, i.e.,  $E = d_L V g$ . Considerando que o peso é dado por  $P = d_c V g$  em que  $d_c$  é a densidade do corpo, podemos fazer uma comparação direta entre o peso e o empuxo por meio das densidades  $d_L$  e  $d_c$  para determinar o estado de um corpo. Quando  $d_c > d_L$ , obtemos  $P > E$  e isso implica que, ao ser liberado do repouso, o corpo afunda no líquido (figura 6(a)). Quando  $d_c = d_L$ , obtemos  $P = E$ , indicando que o corpo permanece em repouso após ser liberado (figura 6(b)). Se  $d_c < d_L$ ,  $P < E$  e o corpo emerge no líquido até  $E$  igualar-se a  $P$ . Isso significa que apenas parte do corpo ficará submerso, conforme mostra a figura 6(c).

**Problema 7**

(UFPE) A figura mostra uma esfera de ferro de densidade  $d = 7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  e volume  $V = 10^{-3} \text{ m}^3$ , submersa em água. A esfera está pendurada por um fio fino inextensível, que está preso à tampa do aquário. Determine a tensão no fio, em newtons.



**RESOLUÇÃO:** O diagrama de forças é apresentado na figura abaixo. Além da força peso e tensão no fio, há a presença do empuxo.



Como o sistema está em equilíbrio, a soma das forças verticais é nula:

$$T + E - P = 0$$

em que  $P = mg$  e  $E = d_L V_L g$ . Como o corpo está completamente submerso, o volume deslocado de líquido é igual ao volume do corpo ( $V_L = V$ ); logo:

$$T = P - E = mg - d_L V_L g$$

$$T = d_c V g - d_L V g = V g (d_c - d_L)$$

A densidade do corpo é dado pelo enunciado e a densidade da água é  $d_L \approx 10^3 \text{ kg/m}^3$ , assim:

$$T = (10^{-3})(10)[(7,8 \times 10^3) - (10^3)]$$

$$T = 68 \text{ N}$$

**Problema 8**

(UFRJ) Um recipiente contendo água se encontra em equilíbrio sobre uma balança, como in-

dica a figura 1. Uma pessoa põe uma de suas mãos dentro do recipiente, afundando-a inteiramente até o início do punho, como ilustra a figura 2. Com a mão mantida em repouso, e após restabelecido o equilíbrio hidrostático, verifica-se que a medida da balança sofreu um acréscimo de 4,5 N em relação à medida anterior.

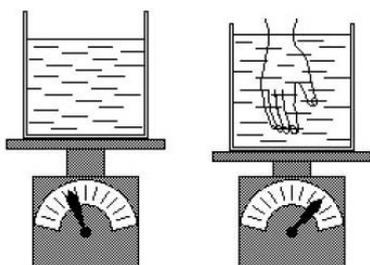


Figura 1

Figura 2

Sabendo que a densidade da água é  $1 \text{ g/cm}^3$ , calcule o volume da mão em  $\text{cm}^3$ .

**RESOLUÇÃO:** o peso adicional registrado pela balança representa o peso da mão da pessoa, que, pelo princípio de Arquimedes, também é o valor do empuxo. Com esse dado, é possível calcular o volume submerso da mão com a equação 14:

$$4,5 = d_L V_L g$$

que fornece

$$V = \frac{4,5}{10 \times 10^3} = 4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 450 \text{ cm}^3$$

em que  $d_L = 1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

#### COLABORADORES DESTA AULA

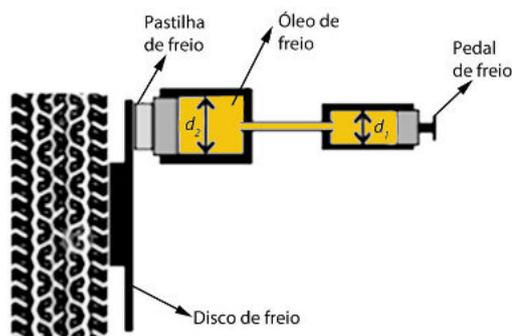
- **Texto:**  
Diego Alexandre Duarte
- **Diagramação:**  
Diego Alexandre Duarte
- **Revisão:**  
Maria Simone Kugeratski Souza

## Referências Bibliográficas

- Halliday, D., R. Resnick e J. Walker (2009). *Fundamentos de Física 2 (Gravitação, Ondas e Termodinâmica)*. Vol. 2. Rio de Janeiro: LTC.
- Máximo, A. e B. Alvarenga (2012). *Física (Ensino Médio) - Parte 1*. Vol. Único. São Paulo: Scipione.

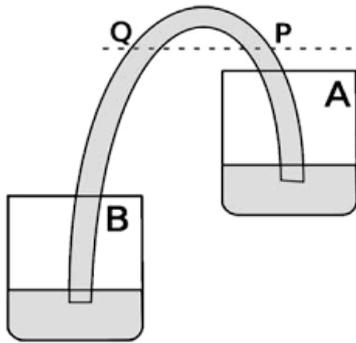
## 6 Lista de Problemas

1. (UNICAMP) A figura abaixo mostra, de forma simplificada, o sistema de freios a disco de um automóvel. Ao se pressionar o pedal do freio, este empurra o êmbolo de um primeiro pistão que, por sua vez, através do óleo do circuito hidráulico, empurra um segundo pistão. O segundo pistão pressiona uma pastilha de freio contra um disco metálico preso à roda, fazendo com que ela diminua sua velocidade angular.



Considerando o diâmetro  $d_2$  do segundo pistão duas vezes maior que o diâmetro  $d_1$  do primeiro, qual a razão entre a força aplicada ao pedal de freio pelo pé do motorista e a força aplicada à pastilha de freio?

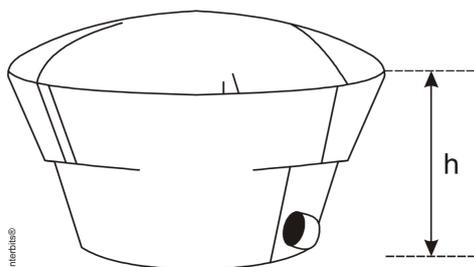
- (a)  $1/4$
  - (b)  $1/2$
  - (c) 2
  - (d) 4
2. (UESC) Considere um tubo em forma de U, contendo água, de densidade  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , e mercúrio, de densidade  $13,6 \text{ g/cm}^3$ , em equilíbrio. Sabendo-se que o módulo da aceleração da gravidade local é igual a  $10 \text{ m/s}^2$  e que a altura da coluna de mercúrio, medida a partir da separação, é de 5,0 cm, é correto afirmar que a altura da coluna de água, medida a partir do mesmo nível da superfície de separação, é igual, em cm, a:
    - (a) 13,6
    - (b) 27,2
    - (c) 40,8
    - (d) 54,4
    - (e) 68,0
  3. O sifão é um instrumento usado para a retirada de água de lugares de difícil acesso. Como mostra a figura a seguir, seu funcionamento se baseia no fato de que, quando o tubo que liga os recipientes A e B está cheio, há uma diferença de pressão hidrostática entre os pontos P e Q, o que provoca um fluxo de água de A para B.



Essa diferença de pressão depende da seguinte característica do nosso planeta:

- (a) pressão atmosférica
  - (b) aceleração da gravidade local
  - (c) temperatura da superfície
  - (d) densidade da atmosfera
  - (e) velocidade de rotação do planeta
4. (UFPR) No dia 20 de abril de 2010, houve uma explosão numa plataforma petrolífera da *British Petroleum*, no Golfo do México, provocando o vazamento de petróleo que se espalhou pelo litoral. O poço está localizado a 1500 m abaixo do nível do mar, o que dificultou os trabalhos de reparação. Suponha a densidade da água do mar com valor constante e igual a  $1,02 \text{ g/cm}^3$  e considere a pressão atmosférica igual a  $1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Com base nesses dados, calcule a pressão na profundidade em que se encontra o poço e indique a alternativa correta que fornece em quantas vezes essa pressão é múltipla da pressão atmosférica.
- (a) 15400
  - (b) 1540
  - (c) 154
  - (d) 15,4
  - (e) 1,54

5. (IFSP) Uma caixa de água está cheia e, por um acidente, ela é furada na sua parte inferior. Para consertá-la e tampar o furo, você dispõe de uma rolha, que é colocada de fora para dentro, conforme mostra a figura

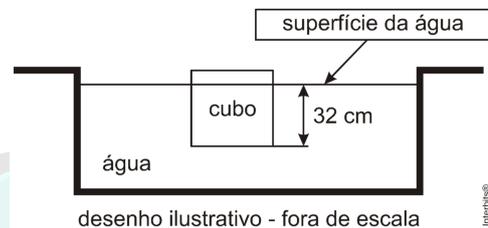


A seguir são enumeradas as grandezas que podem ser relevantes para o cálculo da força que tenderá a empurrar a rolha para fora.

- I. Altura  $h$
- II. Pressão atmosférica
- III. Densidade da água
- IV. Área da secção da rolha
- V. Aceleração da gravidade

A alternativa que contém as grandezas corretas, para o cálculo da força, é:

- (a) I, III e V, apenas.
  - (b) I, II e III, apenas.
  - (c) I, III, IV e V, apenas.
  - (d) I, II, IV e V, apenas.
  - (e) I, II, III, IV e V.
6. (EsPCEEx) Um cubo maciço e homogêneo, com 40 cm de aresta, está em equilíbrio estático flutuando em uma piscina, com parte de seu volume submerso, conforme desenho.



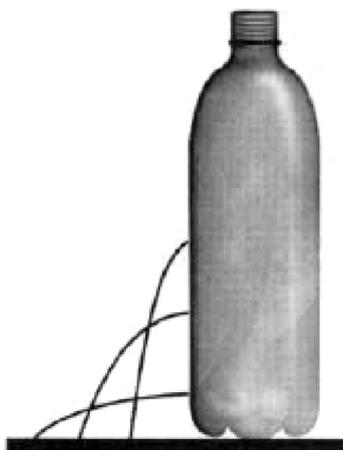
Sabendo-se que a densidade da água é igual a  $1 \text{ g/cm}^3$  e a distância entre o fundo do cubo (face totalmente submersa) e a superfície da água é de 32 cm, então a densidade do cubo é:

- (a)  $0,20 \text{ g/cm}^3$
  - (b)  $0,40 \text{ g/cm}^3$
  - (c)  $0,60 \text{ g/cm}^3$
  - (d)  $0,70 \text{ g/cm}^3$
  - (e)  $0,80 \text{ g/cm}^3$
7. (ENEM) Para realizar um experimento com uma garrafa PET cheia de água, perfurou-se a lateral da garrafa em três posições a diferentes alturas. Com a garrafa tampada, a água não vazou por nenhum dos orifícios, e, com a garrafa destampada, observou-se o escoamento da água, conforme ilustrado na figura. Como a pressão atmosférica interfere no escoamento da água, nas situações com a garrafa tampada e destampada, respectivamente?
- (a) Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.
  - (b) Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.

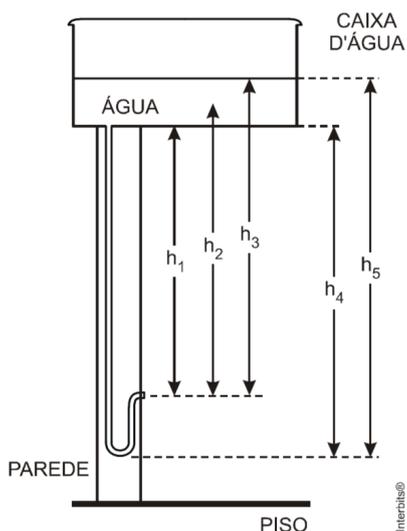
(c) Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.

(d) Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; regula a velocidade de escoamento, que só depende da pressão atmosférica.

(e) Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.



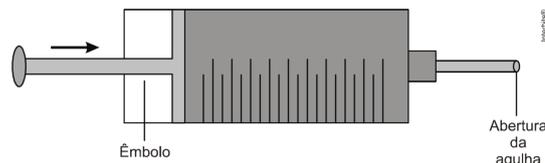
8. (ENEM) O manual que acompanha uma ducha higiênica informa que a pressão mínima da água para o seu funcionamento apropriado é de 20 kPa. A figura mostra a instalação hidráulica com a caixa d'água e o cano ao qual deve ser conectada a ducha.



O valor da pressão da água na ducha está associado à altura:

- (a)  $h_1$
- (b)  $h_2$
- (c)  $h_3$
- (d)  $h_4$
- (e)  $h_5$

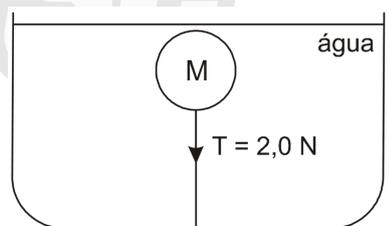
9. (UFSM) Um certo medicamento, tratado como fluido ideal, precisa ser injetado em um paciente, empregando-se, para tanto, uma seringa.



Considere que a área do êmbolo seja 400 vezes maior que a área da abertura da agulha e despreze qualquer forma de atrito. Um acréscimo de pressão igual a  $\Delta p$  sobre o êmbolo corresponde a qual acréscimo na pressão do medicamento na abertura da agulha?

- (a)  $\Delta p$
- (b)  $200\Delta p$
- (c)  $\Delta p/200$
- (d)  $400\Delta p$
- (e)  $\Delta p/400$

10. (CEFET-MG) Um corpo de massa  $M = 0,50$  kg está em repouso, preso por um fio, submetido a uma tensão  $T$ , submerso na água de um reservatório, conforme ilustração.

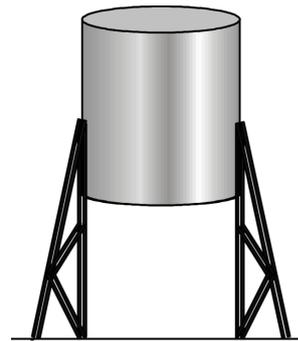
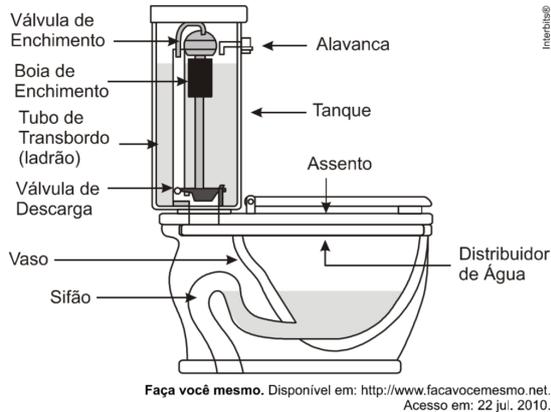


No instante em que o fio é cortado, a aceleração do corpo, em  $m/s^2$ , será:

- (a) 2,0
- (b) 4,0
- (c) 6,0
- (d) 8,0

11. (ENEM) Um tipo de vaso sanitário que vem substituindo as válvulas de descarga está esquematizado na figura. Ao acionar a alavanca, toda a água do tanque é escoada e aumenta o nível no vaso, até cobrir o sifão. De acordo com o Teorema de Stevin, quanto maior a profundidade, maior a pressão. Assim, a água desce levando os rejeitos até o sistema de esgoto. A válvula da caixa de descarga se fecha

e ocorre o seu enchimento. Em relação às válvulas de descarga, esse tipo de sistema proporciona maior economia de água.

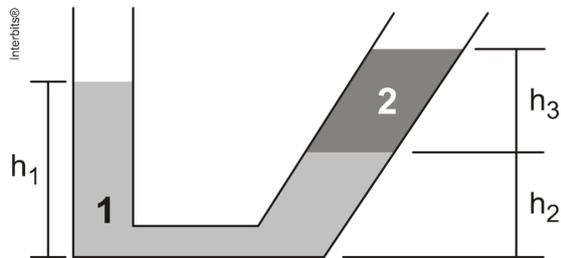


- (a) É maior que 58.000 N
- (b) É menor que 49.000 N
- (c) É igual a 50.000 N
- (d) Está entre 50.100 N e 52.000 N
- (e) Está entre 49.100 N e 49.800 N

A característica de funcionamento que garante essa economia é devida:

- (a) à altura do sifão de água
- (b) ao volume do tanque de água
- (c) à altura do nível de água no vaso
- (d) ao diâmetro do distribuidor de água
- (e) à eficiência da válvula de enchimento do tanque

12. (UEL) A figura a seguir apresenta um vaso preenchido com dois fluidos diferentes não miscíveis. O fluido 1 apresenta densidade de  $1 \text{ g/cm}^3$  e o fluido 2, densidade de  $0,7 \text{ g/cm}^3$ .



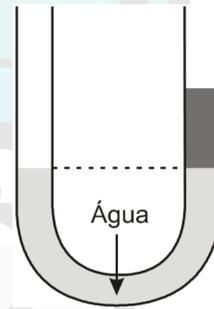
Se  $h_1 = h + h_2$  qual a razão  $h/h_3$ ?

- (a) 0,7
- (b) 1
- (c) 5
- (d) 3,2
- (e) 100

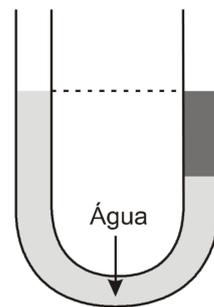
13. (UFPR) Um reservatório cilíndrico de 2 m de altura e base com área  $2,4 \text{ m}^2$ , como mostra a figura, foi escolhido para guardar um produto líquido de massa específica igual a  $1,2 \text{ g/cm}^3$ . Durante o enchimento, quando o líquido atingiu a altura de 1,8 m em relação ao fundo do reservatório, este não suportou a pressão do líquido e se rompeu. Com base nesses dados, assinale a alternativa correta para o módulo da força máxima suportada pelo fundo do reservatório.

14. (UDESC) Certa quantidade de água é colocada em um tubo em forma de U, aberto nas extremidades. Em um dos ramos do tubo, adiciona-se um líquido de densidade maior que a da água e ambos não se misturam. Assinale a alternativa que representa corretamente a posição dos dois líquidos no tubo após o equilíbrio.

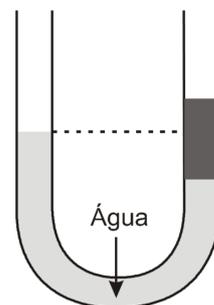
(a)



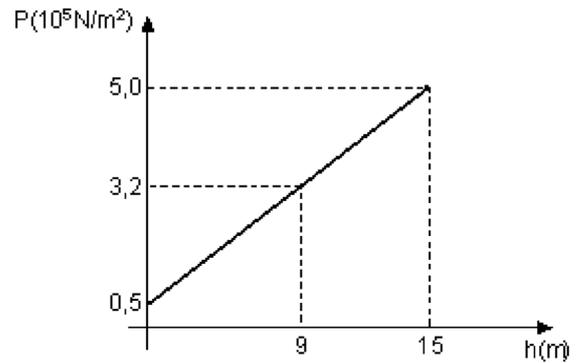
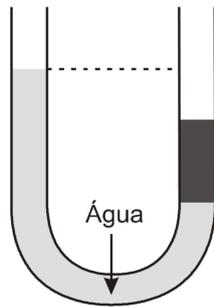
(b)



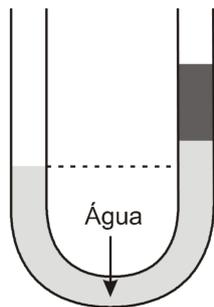
(c)



(d)



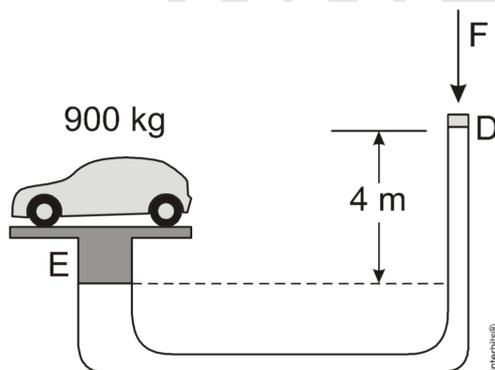
(e)



No local onde se encontra o reservatório, os valores da pressão atmosférica e da densidade do líquido são, respectivamente, iguais a:

- (a)  $5,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  e  $3,0 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$
- (b)  $5,0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$  e  $3,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- (c)  $1,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  e  $1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- (d)  $1,5 \times 10^4 \text{ N/m}^2$  e  $3,6 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$
- (e)  $0,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  e  $3,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

15. (UECE) No elevador mostrado na figura a seguir, o carro no cilindro à esquerda, na posição E, tem uma massa de 900 kg, e a área da seção transversal do cilindro é  $2500 \text{ cm}^2$ . Considere a massa do pistão desprezível e a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ . A área da seção transversal do cilindro, na posição D, é  $25 \text{ cm}^2$ , e o pistão tem massa desprezível.

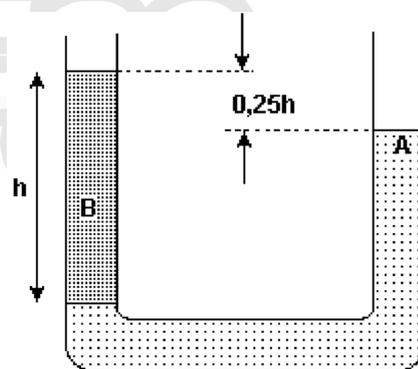


Se o elevador for preenchido com óleo de densidade  $900 \text{ kg/m}^3$ , a força mínima  $F$ , em Newton, necessária para manter o sistema em equilíbrio será:

- (a) 0
- (b) 10
- (c) 800
- (d) 900

16. (UDESC) O gráfico a seguir ilustra a variação da pressão em função da profundidade, para um líquido contido em um reservatório aberto.

17. (UNIFESP) Um fluido A, de massa específica  $d_A$ , é colocado em um tubo curvo aberto, onde já existe um fluido B, de massa específica  $d_B$ . Os fluidos não se misturam e, quando em equilíbrio, B preenche uma parte de altura  $h$  do tubo. Neste caso, o desnível entre as superfícies dos fluidos, que se encontram à pressão atmosférica, é de  $0,25h$ . A figura ilustra a situação descrita.



Considerando que as interações entre os fluidos e o tubo sejam desprezíveis, pode-se afirmar que a razão  $d_B/d_A$  é:

- (a) 0,75
- (b) 0,80
- (c) 1,0
- (d) 1,3
- (e) 1,5

## 7 Gabarito

1. Item (a): 1/4.

2. Item (e): 68,0 cm.
3. Item (b): aceleração da gravidade local.
4. Item (c): 154
5. Item (c): I, III, IV e V, apenas.
6. Item (e):  $0,80 \text{ g/cm}^3$ .
7. Item (a).
8. Item (c):  $h_3$ .
9. Item (a):  $\Delta p$ .
10. Item (b):  $4,0 \text{ m/s}^2$ .
11. Item (b): ao volume do tanque de água.
12. Item (a): 0,7.
13. item (d): Está entre 50.100 N e 52.000 N.
14. Item (d).
15. Item (a): 0.
16. Item (b):  $5,0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$  e  $3,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .
17. Item (a): 0,75.

